

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Měření rovnoběžnosti válců papírenského stroje pomocí laseru.

The laser alignment measurement of the paper machine rolls.

Student:

Bc. Michal Rychlý

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Blata

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Rychlý**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Měření rovnoběžnosti válců papírenského stroje pomocí laseru.**
The Laser Alignment Measurement of the Paper Machine Rolls.

Zásady pro vypracování:

Zpracujte metodický postup pro měření geometrie hlavních válců převíječe papírenského stroje pomocí laseru. Proved'te závěrečné zhodnocení a porovnání provozních měření na daném zařízení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te konkrétní provozní vyhodnocení.

Další bližší informace provede firma DIF spol. s r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TUMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

ČSN 01 1613- *Výpočet předpokládaných hladin hluku v průmyslových prostorech*, Praha, ČNI, 1989

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

Rozsah práce: min. 40 stran textu mimo přílohy.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata**

Datum zadání: 10.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

Kovář

doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



Farana

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Michal Rychlý

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Pobřežní 15

Jablonec nad Nisou

466 04

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

RYCHLÝ, M. *Měření rovnoběžnosti válců papírenského stroje pomocí laseru*. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2010, XX s. Diplomová práce, vedoucí Ing. Blata, J.

V první části této diplomové práce jsem se pokusil seznámit čtenáře se základy ustavování strojů a to obzvláště s měřením rovnoběžnosti, přímosti a rovinnosti. Tyto teoretické poznatky jsou dále použity při měření na modelu ve firmě DIF s.r.o.. Provedl jsem měření přímosti, rovnoběžnosti a následné vyhodnocení stavu modelu. Jako poslední část této práce jsem změřil stav převíječe papírenského stroje KANT. Stroj se skládá z několika válců, přičemž já jsem změřil rovnoběžnost u šesti a přímost u čtyř. Stav stroje po měření je podle kritérií firmy DIF s.r.o. v pořádku a není potřeba dalšího ustavování válců či jejich broušení.

ANNOTATION OF THE THESIS

RYCHLÝ, M. *The Laser Alignment measurement of the paper machine rolls*. Ostrava: Department of Production Machinery and Construction, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2010, XX p. Thesis head: Ing. Blata, J.

In first part of this master thesis I tried to make readers acquainted with machine alignment basics especially with measurement of parallelism, straightness and flatness. This theoretical knowledge was then applied in measurement on the model in the DIF s.r.o. company. I measured parallelism, straightness and then I made evaluation of the condition of the model. Last part of of this master thesis is about measurement of the paper machine rewinder KANT. This machine is composed from several rolls and I measured parallelism on six of them and straightness on four of them. After measurement I found that the machine is in good condition according criteria given by DIF s.r.o and there is no need to align or grind the rolls.

Obsah diplomové práce

	Strana
Seznam použitých značek a symbolů.....	8
1. Úvod.....	9
1.1 Ustavování strojů	10
1.1.1 Nesouosost	10
1.1.2 Druhy nesouososti	11
1.1.3 Metody ustavování	12
1.2 Geometrická měření	16
1.2.1 Rovnoběžnost	17
1.2.2 Rovinnost	24
1.2.3 Přímost	25
2. Měření na modelu	28
3. Měření převíječe papírenského stroje KANT.....	34
3.1 Popis převíječe.....	34
3.2 Postup měření.....	35
3.3 Naměřené hodnoty.....	35
4. Vyhodnocení.....	39
4.1 Metody hodnocení.....	39
4.2 Zhodnocení dle předchozích parametrů.....	40
5. Závěr	41
6. Seznam použité literatury.....	42

Seznam použitého značení

IR -	Infra red (infračervené světlo)
LASER -	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zesílení světla pomocí stimulované emise záření.
Libela -	Vodováha
Tambor –	Role, na kterou se navíjí papír v papírenském stroji
UV -	Ultra violet (ultrafialové světlo)

1 Úvod

V dnešní době je provozuschopnost strojů ve výrobě důležitá. Každý neplánovaný výpadek kritického stroje s sebou přináší veliké ztráty. Bylo zjištěno, že přibližně 50% poruch je vlivem špatného ustavení. Z tohoto důvodu je již v některých společnostech samozřejmostí používání přesného ustavování. Pokud ustavíme stroj přesně, tak se životnost jeho součástí (ložiska, spojky, hřídele...) několikanásobně zvýší, sníží se hlučnost, teplota, spotřeba elektrické energie a v neposlední řadě se zvýší kvalita produktů či rychlost výroby.

Ustavování strojů v papírenském průmyslu se zaměřuje hlavně na souosost (čerpadla, pohony, ventilátory, atd.), řemenové převody, kontrolu základových desek a rovnoběžnost válců a dalších částí papírenského stroje. Z uvedeného popisu je vidět, že papírenský stroj je komplexní zařízení obsahující mnoho prvků.

Cílem této práce je seznámit čtenáře se základy ustavování strojů s důrazem na geometrická měření obzvláště na měření rovnoběžnosti válců pomocí laseru. Dále bude provedeno měření a následné vyhodnocení rovnoběžnosti a přímosti válců a to jak na modelu, tak i na reálném stroji v provozu.

1.1 Ustavování strojů

V současnosti je provozuschopnost strojů ve výrobě důležitá, protože mnoho dnešních nezbytností se vyrábí pomocí rotačních systémů. Každý neplánovaný výpadek kritického stroje s sebou přináší velké finanční ztráty anebo může dojít i k ohrožení životů lidí či zvířat.

Druhy ustavování

V dnešní době se nejčastěji provádí ustavování nesouososti a geometrická měření, která obsahují měření rovnoběžnosti, rovinnosti, přímosti a jiných speciálních aplikací. V následujícím textu se zmíním obsáhleji o výše zmíněných metodách.

1.1.1 Nesouosost

Jak uvádí literatura [1] je dobré na začátek uvést základní pojmy, aby později v textu bylo vše srozumitelné.

Při ustavení jakéhokoliv strojního systému, který je poháněn motorem, ať již elektrickým, hydraulickým či spalovacím (pohonné jednotky) je obvykle hnaný stroj stacionární a hnací stroj pohyblivý, takže chyba v souososti (špatné ustavení) je dána definováním polohy pohyblivého stroje vzhledem ke stacionárnímu, tzn. dva nebo více hřídelů není v jedné přímce.

Střed rotace

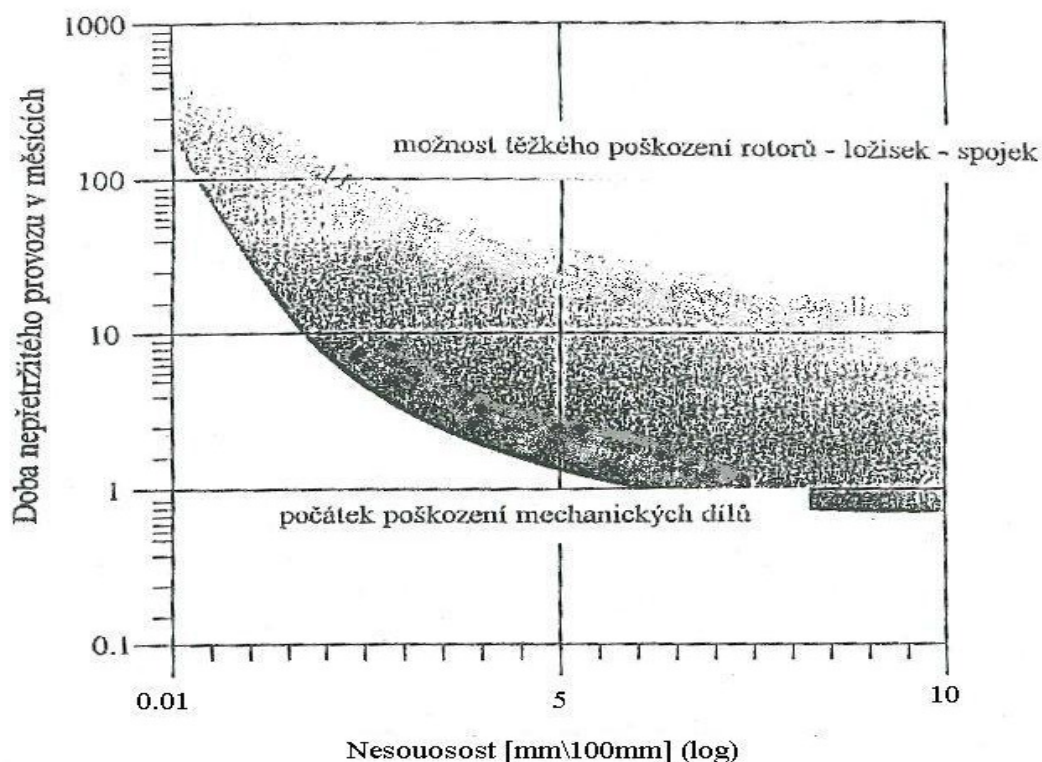
Všechny hřídele, rovné nebo prohnuté, se otáčejí okolo osy, která se nazývá střed rotace. Střed rotace je tvořen přímkou.

Souosost

Dva hřídele nazýváme souosými, pokud středy rotace obou hřídelů tvoří jednu přímku.

Nesouosost

Hřídele jsou neustavené (nesouosé), když jejich středy rotace nejsou během provozu stroje souosé. Na obr. č. 1 je ukázáno jaký vliv má nesouosost na životnost některých částí stroje.

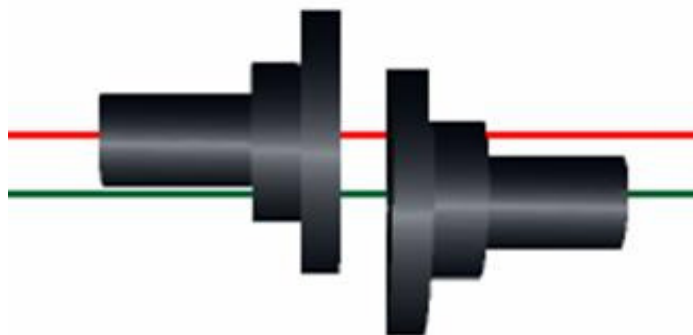


Obr. č. 1 Životnost strojních součástí v závislosti na nesouososti [2]

1.1.2 Druhy nesouososti

Radiální přesazení (posunutí)

Znamená vzdálenost mezi osami rotace v daném bodě. Ustavením chceme dosáhnout stavu, kdy rotační osy budou totožné, tzn. eliminovat posunutí ve svislé a vodorovné rovině.



Obr. č. 2 Radiální přesazení (posunutí)[4]

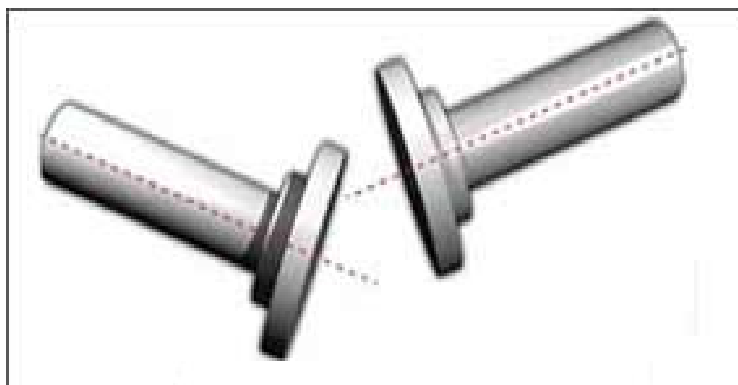
Nebo je odchylka polohy od známého referenčního bodu. Posunutí jsou charakterizována velikostí a směrem odchýlení, tzn. odchýlení osy jednoho hřídele od druhého v určitém bodě po jeho délce.

Axiální přesazení (úhlová nesouosost)

Znamená úhel mezi dvěma osami rotace. Jak je vidět (obr č. 3), tak hřídele jsou vůči sobě nakloněny o určitý úhel, nebo je hřídel pohyblivého stroje nakloněn k hřídeli stacionárního.



Obr. č. 3 Axiální přesazení (úhlová nesouosost) [4]



Ve většině případů nesouososti se jedná o kombinaci předchozích dvou. (Obr č. 4)

Obr. č. 4 Kombinovaná nesouosost

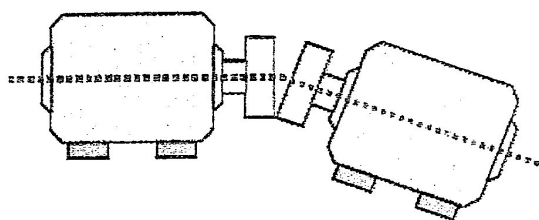
Dále se radiální a axiální přesazení dělí:

- Horizontální

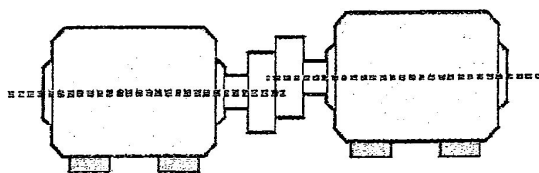
Nesprávné ustavení posuzované shora a korigované posunováním přední a zadní části stroje do stran se nazývá horizontální nesouosost.

- Vertikální

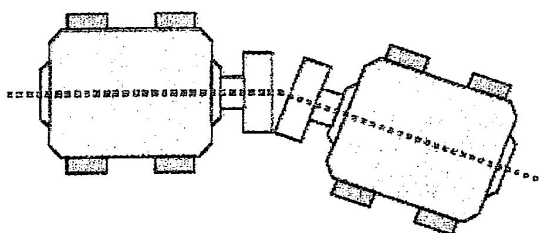
Nesprávné ustavení posuzované ze strany a korigované podkládáním přední a zadní části stroje se nazývá vertikální nesouosost.



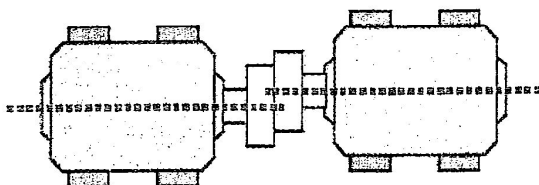
Vertikální axiální přesazení



Vertikální radiální přesazení



Horizontální axiální přesazení



Horizontální radiální přesazení

Obr. č. 5 Druhy přesazení [1]

1.1.3 Metody ustavování

Mechanické metody

Nejstarší známé metody. V současnosti se nejvíce používají při tzv. hrubém ustavení. Používají se následující nástroje

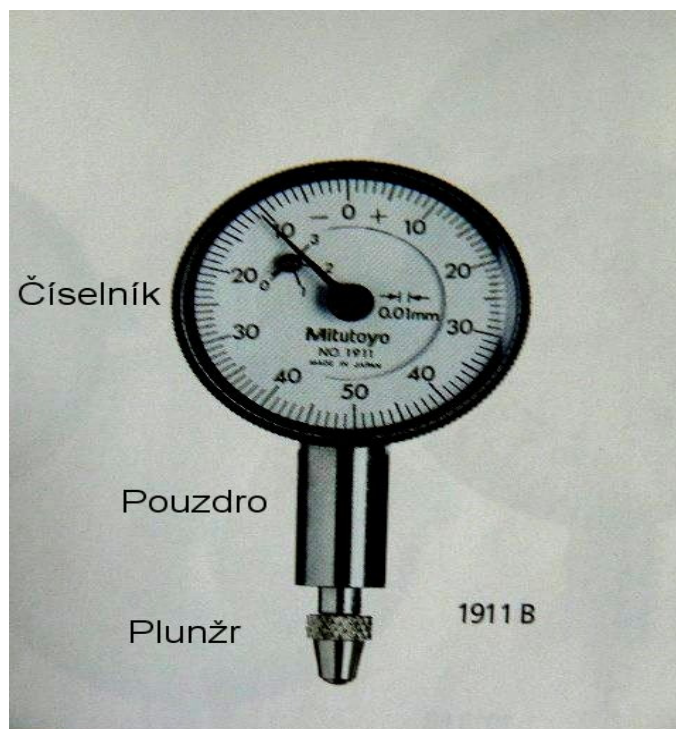
- Příměrná pravítka
- Lístkové spároměrky
- Kalibrované kužele

Metody používající číselníkové úchylkoměry

Číselníkový úchylkoměr (Obr. č. 6) je přístroj pro měření relativní polohy. Skládá se z číselníku, pouzdra a plunžru, který je opatřen pružinou a lze jím pohybovat suvně. Suvný pohyb je převeden na otáčení ručičky na stupnici. Nyní se používají i digitální úchylkoměry.

Používají se tyto metody:

- Čelně obvodová metoda
- Reverzní obvodová metoda



Obr. č. 6 Číselníkový úchylkoměr

Nevýhody použití číselníkových úchylkoměrů vznikají kvůli průhybu nosných tyčí od hmotnosti úchylkoměru a dalších součástí potřebných k měření.

Laserové systémy

Laser v měřicích přístrojích se používá již od roku 1984 a v dnešní době již existuje celá řada laserových ustavovacích systémů. Hlavní výhoda je, že již nedochází ke zkreslení v důsledku průhybu nosných tyčí jako u úchylkoměrů. Fungují většinou na principu reversní indikátorové metody, kdy upevníme jeden snímač na pohyblivý stroj a druhý na stacionární. Do vyhodnocovací jednotky se zadají vstupní parametry a po vyhodnocení měření se nám zobrazí stav ustavení stroje.

LASER je zkratka technologického procesu (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zesílení světla pomocí stimulované emise záření) jedná se o kvantový generátor světla.

Vlastnosti Laseru:

- Monochromatický (pouze jedna vlnová délka (barva))
- Koherentní (světlo má pouze jednu frekvenci a fázi)
- Malá divergence (rozbíhavost)

Typy laserů [14]

Typ laseru	Aktivní prostředí	Vlnová délka	Spektrální oblast	Příklady použití
Pevnolátkové				
Rubínový laser	Rubín	694,3 nm	červená	holografie, odstraňování tetování
Nd:YAG laser	Neodym, YAG	1064 nm	IR	litografie, chirurgie, strojírenství, spektroskopie
Ho:YAG laser	Ho:YAG	2,1 μm	IR	chirurgie, stomatologie
Er:YAG laser	Erbium, YAG	2,94 μm	IR	chirurgie, stomatologie
Titan-safírový laser	titan, safír	690 - 1000 nm	červená, IR	spektroskopie, fs pulsy
Alexandritový laser	Alexandrit	700 - 800 nm	červená, IR	žihání, řezání
Barvivové				
Rhodamin 6G laser	Rhodamin 6G	570-650 nm	žlutá, oranžová, červená	dermatologie
Kumarin C30 laser	Kumarin C30	504 nm	zelená	oftalmologie, chirurgie
Plynové – Atomární				
He-Ne laser	hélium, neon	543 nm, 633 nm	zelená, červená	zaměřování polohy
Měděný laser	měď	510 nm, 578 nm	zelená	podmořská komunikace a lokace
Jodový laser	jód	342 nm, 612 nm, 1315 nm	viditelné, IR	věda, termojaderná syntéza
Xenonový laser	xenon, neon, hélium	300 – 450 nm	viditelné, IR	
Plynové – Iontové				
Argonový laser	argon	488 nm, 514 nm	modrá, zelená	oftalmologie, spektroskopie
Hélium-kadmiový laser	hélium, kadmium	325 nm, 442 nm	UV, modrá	
Plynové – Molekulární				
Vodíkový laser	vodík	100 - 120 nm, 140 - 165 nm	UV	
CO ₂ laser	Oxid uhličitý	10,6 μm	IR	sváření, řezání, stomatologie, gravírování
CO laser	Oxid uhelnatý	5 - 6,5 μm	IR	

Excimerové lasery	ArF, KrCl, KrF, XeCl, XeF	193 - 351 nm	UV	oftalmologie, laserová ablace, fotolitografie
Dusíkový laser	dusík	337 nm	UV	
Polovodičové				
GaAs laser	GaAs	650 nm, 840 nm	červená, IR	laserová ukazovátka, laserová tiskárna
GaAlAs laser	GaAlAs	670-830 nm	červená	telekomunikace, přehrávače CD, displeje
AlGaInP laser	AlGaInP	650 nm	červená	přehrávače DVD
GaN laser	GaN	405 nm	modrá	Blu-ray disky
InGaAlP laser	InGaAlP	630-685 nm	červená	lékařství

Pro měřicí přístroje se používají nejčastěji polovodičové lasery.

Klasifikace LASERů

Všechna zařízení, která jsou používána v komerčních výrobcích, musí být klasifikována podle oficiálních kritérií. Tyto kritéria zahrnují bezpečnostní opatření, emisní limity laserového záření a kritéria pro přístup a expozici člověka.

Klasifikační třídy laserů s viditelným světlem (vlnová délka 400–750 nm).

	Výstupní výkon	Bezpečnostní opatření	Typické aplikace
Class 1	≤ 0.1 mW	Žádné zvláštní	CD přehrávače
Class 2	≤ 1 mW	Nedívejte se do paprsku	Měřicí zařízení
Class 3A	≤ 5 mW	Nedívejte se do paprsku nebo se dívejte ve směru optických přístrojů	Laserová ukazovátka, Konstrukční lasery
Class 3B	≤ 0.5 W	Nevystavujte se působení paprsku. Provoz pouze v kontrolovaných prostorách.	Lasery pro lékařské použití
Class 4	≥ 0.5 W	Nevystavujte oči ani pokožku působení přímého nebo rozptýleného paprsku. Provoz pouze v kontrolovaných oblastech.	Laserové řezací stroje, Vojenské zaměřovače.



Obr. č. 7 Laserový ustavovací systém [6]

1.2 Geometrická měření

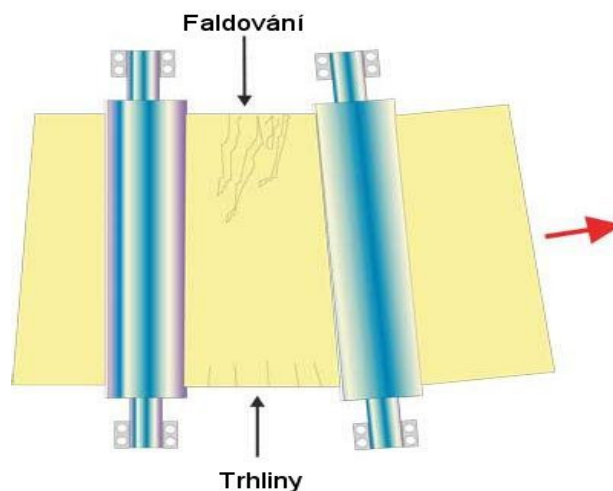
Tato měření se používají tam, kde potřebujeme ustavit velké stroje ve velmi přesných tolerancích. Toho nelze dosáhnout jinak než pomocí optických či laserových zařízení. Je to měření geometrických rozměrů, nebo odchylky od souřadných os X, Y, Z.

Laserový systém se skládá z:

- Vyhodnocovací jednotka – obsahuje programy pro měření:
 - Souososti
 - Geometrie
 - Atd.
- Laserová hlava – rozmítá laserový paprsek v rovině (horizontální i vertikální)
- Detektory (jednoosé, dvouosé)
- Upínací prvky
- Příslušenství

1.2.1 Rovnoběžnost

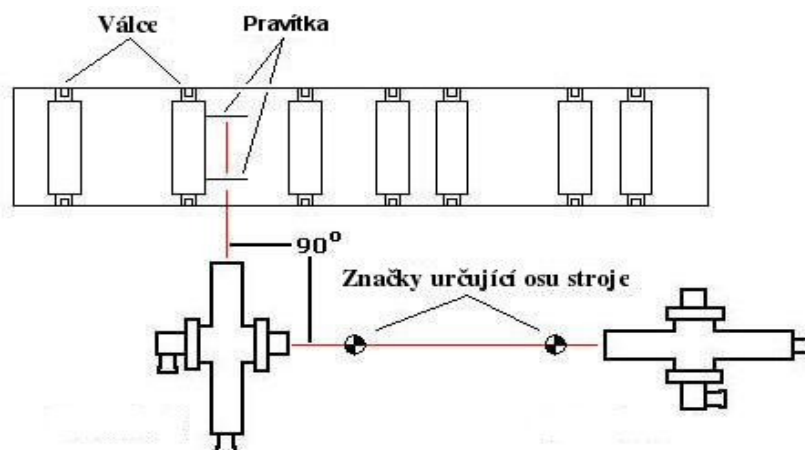
V současné době, kdy dochází k neustálému tlaku na produktivitu výroby a kvalitu produkce v papírenském, tiskařském či textilním průmyslu, je měření rovnoběžnosti válců v těchto strojích velice podstatné. Například pokud nejsou válce v papírenském stroji rovnoběžné, dochází na jedné straně k zvlnění (faldování) a na druhé k trhlinám (Obr. č. 8)



Obr. č. 8 Nerovnoběžnost válců [3]

Metody měření a ustavování:

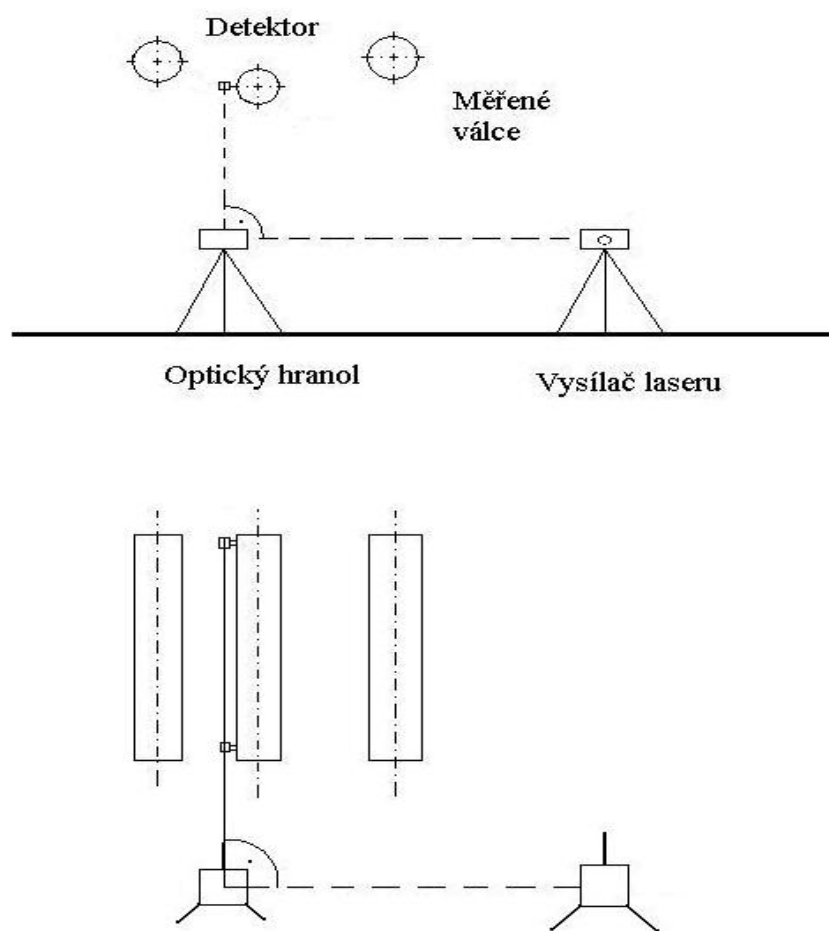
Základní metoda spočívá v měření odklonu povrchy strojního prvku (válce) na kolmici k podélné ose stroje viz obr. č. 9. Ta vychází z optické metody, které používají autokolimátory, nivelační přístroje či měřicí teleskopy. Další způsoby měření jsou pomocí průmyslové totální stanice (Obr. č. 16 a 17) a pomocí zařízení využívajícího vysoce přesných gyroskopů (Obr. č. 18 a 19).



Obr. č. 9. Měření rovnoběžnosti válců pomocí průmyslového teodolitu.[12]

Metoda podle jednoho z válců

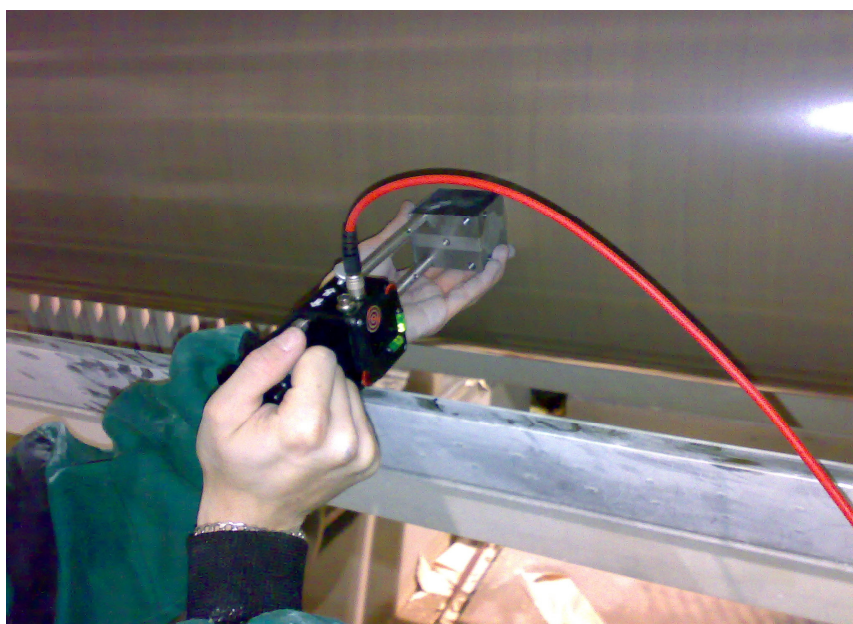
Nejdříve umístíme zdroj laseru tak, aby směr paprsku byl přibližně rovnoběžný se strojem a to buď na stativ, nebo na stroj (obr č. 11). Poté umístíme optický hranol k prvnímu měřenému válci tak že je kolmý na laserový paprsek. Ve vyhodnocovací jednotce zvolíme program Parallelism (rovnoběžnost). Program nás vyzve, abychom zadali počet měřených válců. Následně pojmenujeme první měřený válec a zadáme vzdálenost mezi počátečním a koncovým měřeným bodem. Program se nás následně zeptá, zdali měříme nahoře, dole vpravo či vlevo. Upevníme detektor na počátku (Obr č. 12) a změříme hodnotu. Přemístíme detektor do koncového bodu, kde také změříme hodnotu. Přesuneme optický hranol k dalšímu válci a opakujeme měření stejným způsobem jako u prvního. Nakonec si vybereme válec, který je referenční a vyhodnocovací jednotka nám ukáže, jaké jsou odchylky u ostatních válců.



Obr. č. 10 Schéma metody podle jednoho z válců



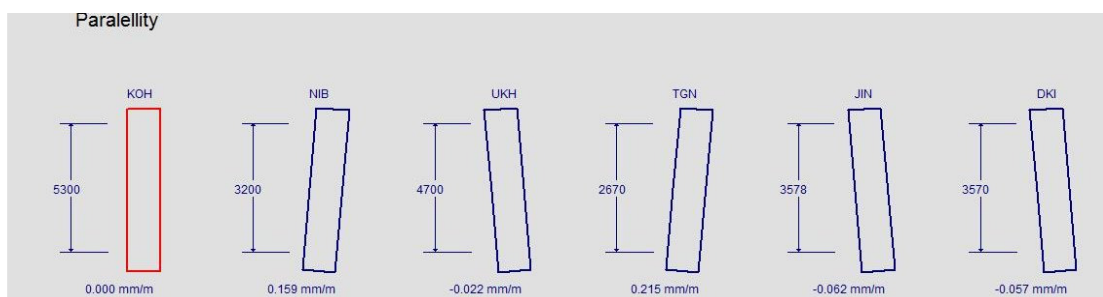
Obr. č. 11 Zdroj laseru na stativu



Obr. č. 12 Upevnění detektoru na válec



Obr. č. 13 Sada D670 od společnosti EASY-LASER® pro měření rovnoběžnosti válců pomocí odkloněného laserového paprsku.[7]



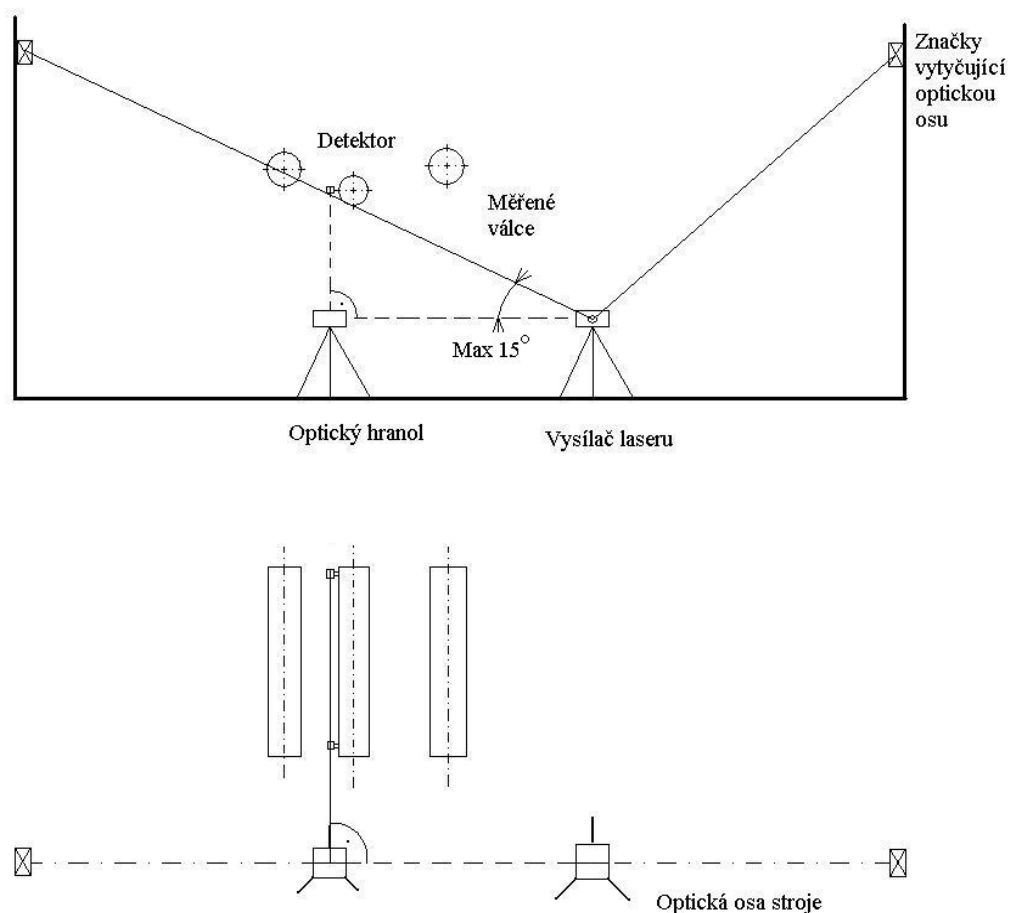
Obr. č. 14. Výsledný protokol z měřicího zařízení

Num	Ref	Value	Width	Name
1	Ref	0.000	5300	KOH
2		0.159	3200	NIB
3		-0.022	4700	UKH
4		0.215	2670	TGN
5		-0.062	3578	JIN
6		-0.057	3570	DKI
Max		0.215		
Min		-0.062		

Tab. č. 1 Ukázková tabulka naměřených hodnot

Metoda podle osy stroje

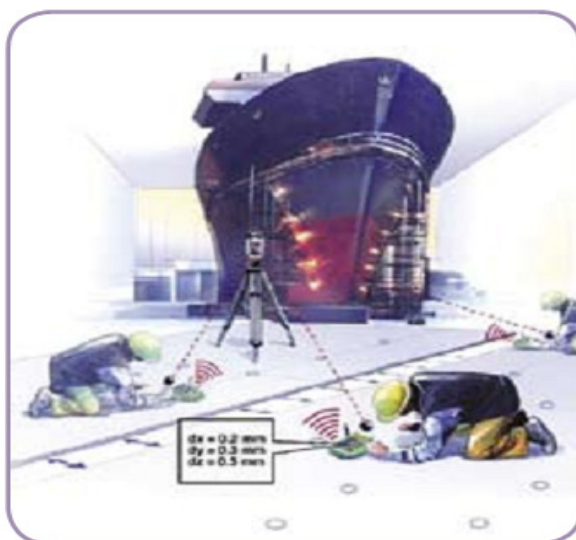
Měření probíhá tak, že nejdříve vytyčíme optickou osu stroje, nebo pokud je již vytyčena tak pouze nastavíme referenční laserový paprsek, aby s ní byl rovnoběžný (Obr č. 15). Další průběh je již stejný jako když jsme za referenci brali jeden z válců, pouze ve vyhodnocovací jednotce si zvolíme optickou osu stroje. Poté program vypočítá hodnoty odchylek od této osy.



Obr. č. 15 Schéma metody podle osy stroje

Speciální metody

Další způsob měření rovnoběžnosti je použití totální průmyslové stanice. Ta byla vyvinuta pro měření velkých ocelových či hliníkových konstrukcí (např. trupy lodí). Dosahovaná přesnost měření je ± 0.25 mm na 35 m a minimální měřicí vzdálenost 2 m.



Obr. č. 16 Ukázka měření pomocí totální stanice[10]



Obr. č. 17 Totální stanice Leica TDRA6000 [11]

Jako úplná novinka v měření rovnoběžnosti je zařízení PARALIGN[®] od společnosti PRÜFTECHNIK. V tomto přístroji jsou tři velice přesné gyroskopy (zařízení pro určování polohy v prostoru). Přístrojem se nejdříve zjistí poloha referenčního válce a ta se pak porovnává s odchylkami dalších válců. Měření je rychlé a snadné. Přesnost je také vysoká. Odchylka měření je pouze 4 $\mu\text{m}/\text{m}$.



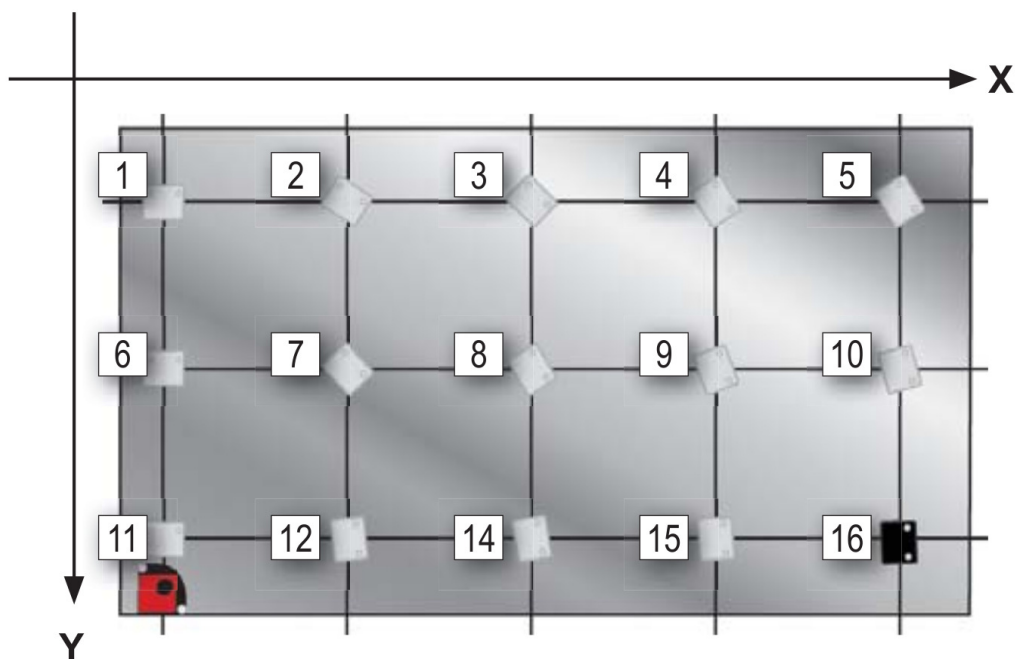
Obr. č. 18 PARALIGN® [9]



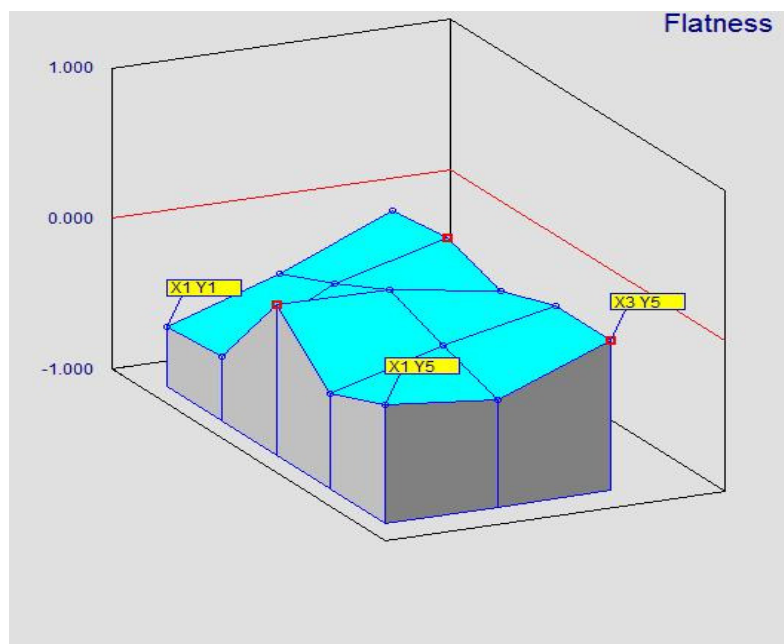
Obr. č. 19 Použití přístroje PARALIGN® [8]

1.2.2 Rovinnost

Používá se v případech měření rovinnosti plochy. Může se jednat o stoly obráběcích strojů, základy či jiné strojní části. Měření probíhá tak, že do rohu stolu umístíte zdroj laseru. Dále umístíte detektor do bodů 5, 11 a 16 (Obr. č. 20.) a pomocí nich vytvoříme referenční rovinu. Nyní si vytvoříme síť bodů a provedeme měření pro každý z nich. Po skončení dostaneme naměřené hodnoty.



Obr. č. 20. Měření rovinnosti

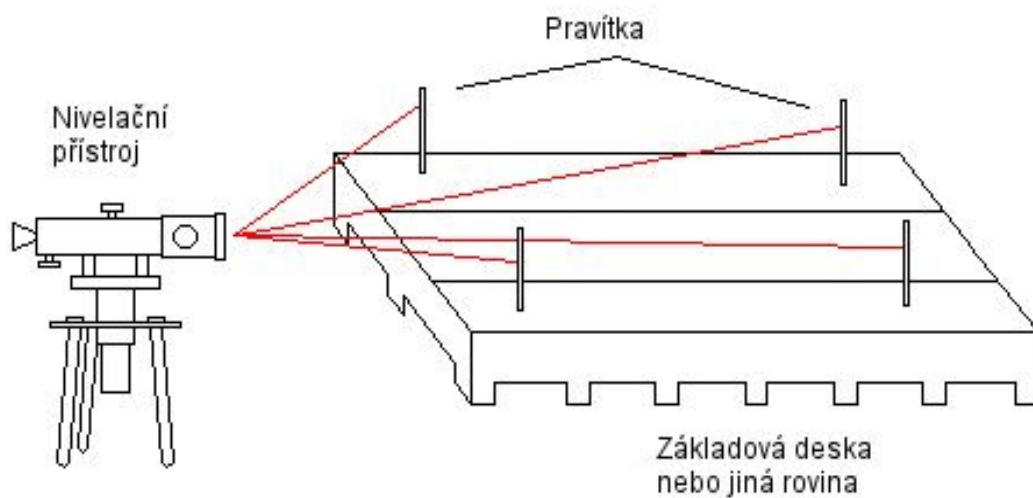


Obr. č. 21 Grafické znázornění naměřených hodnot

Pos	Ref	Value
<hr/>		
X1 Y1		-0.603
X1 Y2		-0.575
X1 Y3	Ref	0.000
X1 Y4		-0.364
X1 Y5		-0.211
X2 Y1		-0.362
X2 Y2		-0.198
X2 Y3		-0.011
X2 Y4		-0.152
X2 Y5		-0.287
X3 Y1		-0.044
X3 Y2	Ref	0.000
X3 Y3		-0.127
X3 Y4		-0.002
X3 Y5	Ref	0.000
<hr/>		
Max		0.000
Min		-0.603
Peak-Peak		0.603
Average level		-0.196
Standard dev		0.164
<hr/>		
Flatness Rms		0.138

Tab. č. 2. Ukázková tabulka naměřených hodnot

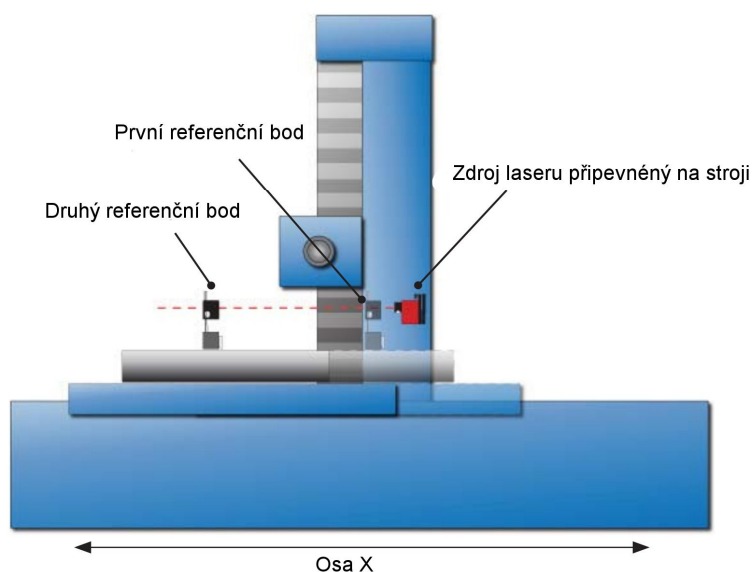
Totéž měření lze také provést pomocí nivelačního přístroje. Jediný rozdíl je v tom, že hodnoty odečítáme na speciálních pravítkách, nebo noniusu nivelačního přístroje.



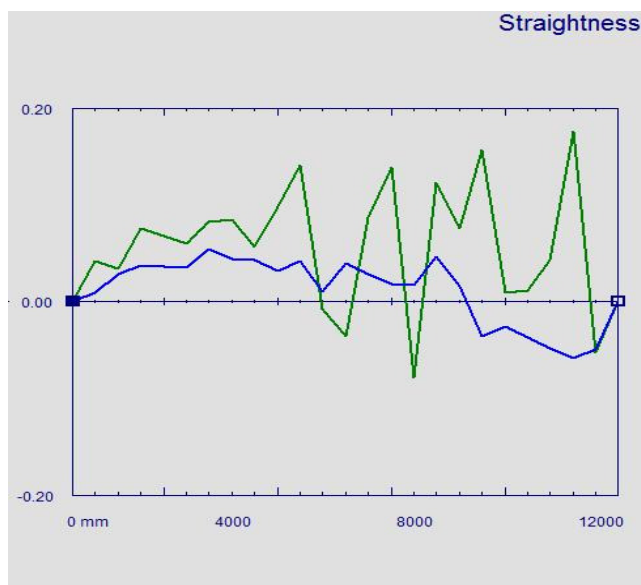
Obr. č. 22. Měření rovinnosti pomocí nivelačního přístroje [12]

1.2.3 Přímost

Měření je velmi podobné rovinnosti, s tím že se měří odchylka povrchové přímky od přímky vytyčené laserem, nebo opticky. Měření se obvykle provádí ve 3 osách X, Y, Z. Zdroj laseru se upevní na pevnou část stroje nebo do stativu. Nastaví se počet bodů a vzdálenost mezi nimi. Postupně se detektor posouvá z jednoho bodu do dalšího a zaznamenávají se naměřené hodnoty. Vyhodnocovací jednotka pak zobrazí výsledky měření.



Obr. č. 23. Měření přímosti pomocí laseru [5]



Obr. č. 24 Grafické znázornění naměřených hodnot při měření přímosti

Num	Ref	Dist	Ver	Hor
1	Ref	0	0.00	0.00
2		500	0.04	0.01
3		1000	0.03	0.03
4		1500	0.08	0.04
5		2000	0.07	0.04
6		2500	0.06	0.04
7		3000	0.08	0.06
8		3500	0.08	0.04
9		4000	0.06	0.04
10		4500	0.10	0.03
11		5000	0.14	0.04
12		5500	-0.01	0.01
13		6000	-0.04	0.04
14		6500	0.09	0.03
15		7000	0.14	0.02
16		7500	-0.08	0.02
17		8000	0.12	0.05
18		8500	0.08	0.02
19		9000	0.16	-0.04
20		9500	0.01	-0.03
21		10000	0.01	-0.04
22		10500	0.04	-0.05
23		11000	0.18	-0.06
24		11500	-0.05	-0.05
25		12000	0.00	0.00
Max		0	0.18	0.06
Min		0	-0.08	-0.06

Tab. č. 3. Ukázka naměřených hodnot – Příměst

2. Měření na modelu

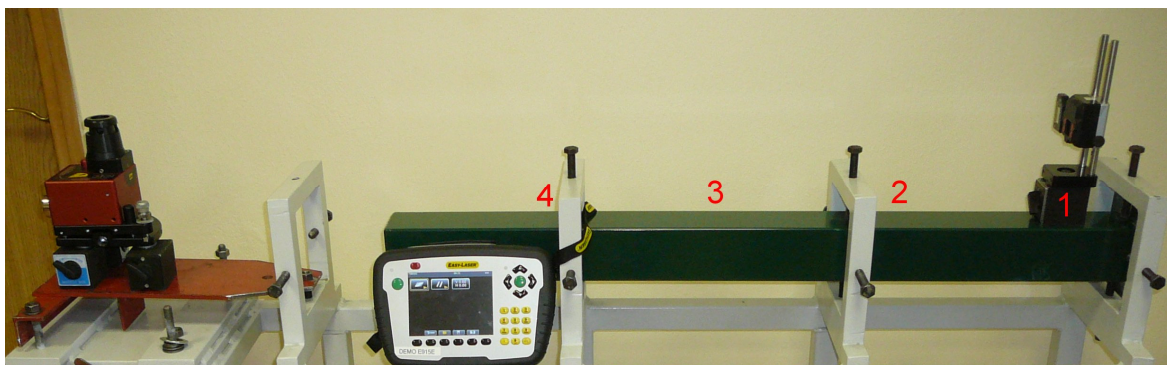
Provedl jsem měření na modelu ve firmě DIF s.r.o určeného pro měření přímosti. Nejdříve jsem změřil přímost nosníku na modelu a nakonec rovnoběžnost dvou částí rámu.



Obr. č. 25 Model pro měření přímosti

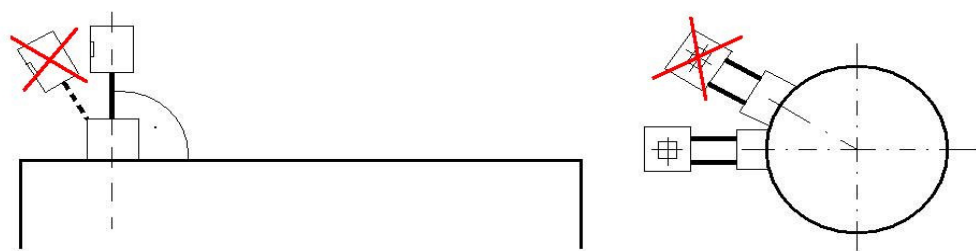
2.1 Měření přímosti

Jako první jsem provedl měření pomocí přístroje Easy-Laser D525B a poté přístrojem E 915E od stejného výrobce.

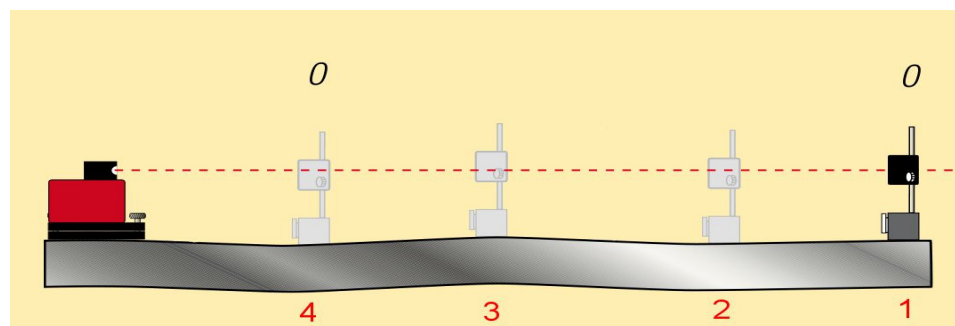


Obr. č. 26 Označení měřicích míst

Nejdůležitější částí měření je ustavit vysílač do roviny. Každá odchylka od vodorovné roviny či roviny stroje má velice velký vliv na přesnost měření, proto jsou na laserové hlavě libely (vodováhy), aby byla přesně v rovině. Přesnost libely je 0,02 mm/m. Dalším kritériem přesnosti je správné přiložení detektoru k měřenému stroji, pomocí magnetu nebo prisma. Nesmí vzniknout vůle v upevnění (obr. č. 27). Měření bylo provedeno ve čtyřech bodech (viz obr. č. 26 a 28) vzdálených od sebe vždy 250 mm a následně byla vyhodnocena přímota daného profilu. Jako referenční přímka byla zvolena přímka tvořená body 1 a 4 jak je vidět i na obr. 28, kde krajní pozice jsou označeny 0. Profil jsem pak vyrovnal do roviny pomocí stavěcích šroubů. Měřil jsem pouze ve vertikální rovině.



Obr. č. 27 Upevnění detektoru na měřený objekt



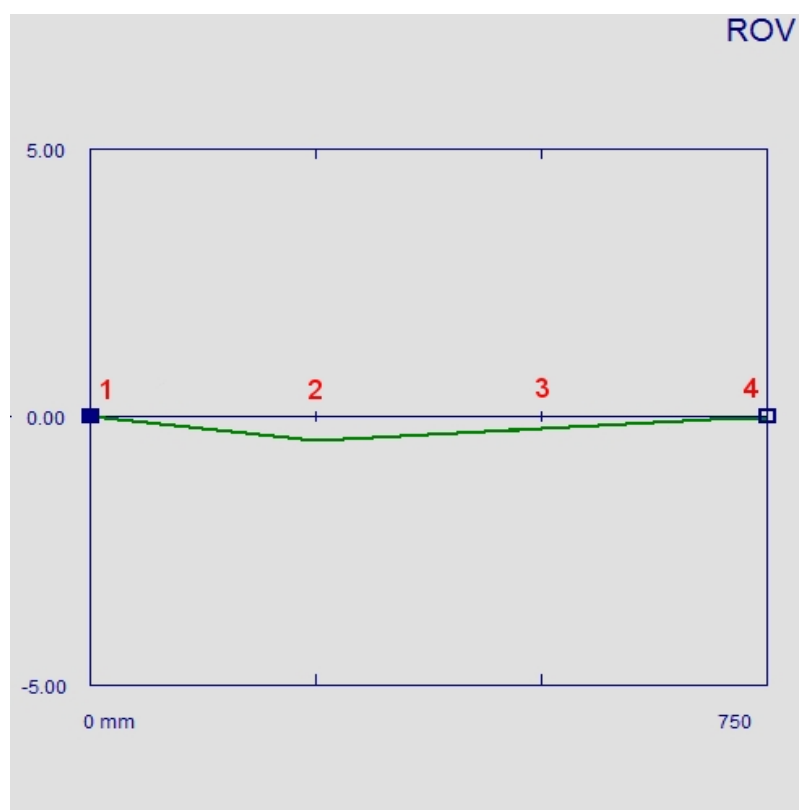
Obr. č. 28 Průběh měření přímosti [13]

Filename: ROV
 Date: 10.02.26
 Time: 08:55
 Program: Straightness
 Unit: mm
 Serial: 49793 / 49534
 Temp: 19.4C

Num	Ref	Dist	Ver
1	Ref	0	0.00
2		250	-0.43
3		500	-0.21
4	Ref	750	0.00

Max		0	0.00
Min		0	-0.43

Tab. č. 4. Naměřené hodnoty před ustavením

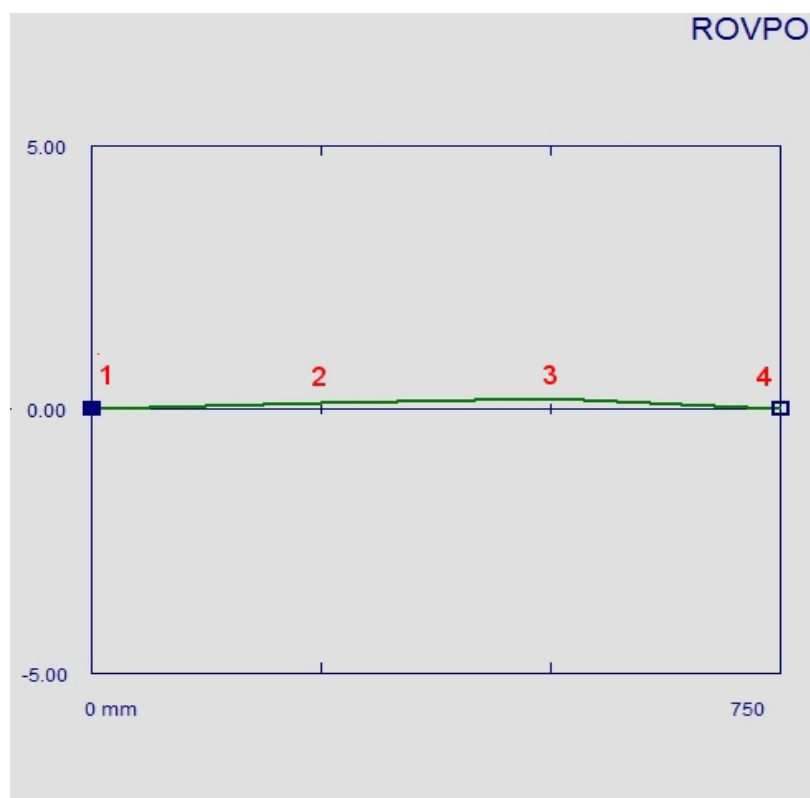


Obr. č. 29 Grafické znázornění naměřených hodnot před ustavením

Filename: ROVPO
 Date: 10.02.26
 Time: 09:04
 Program: Straightness
 Unit: mm
 Serial: 49793 / 49534
 Temp: 19.8C

Num	Ref	Dist	Ver
1	Ref	0	0.00
2		250	0.13
3		500	0.20
4	Ref	750	0.00
<hr/>			
Max		0	0.20
Min		0	0.00

Tab. č. 5. Naměřené hodnoty po ustavení



Obr. č. 30 Grafické znázornění naměřených hodnot po ustavení

2.2 Měření rovnoběžnosti rámu

Jako druhé jsem změřil rovnoběžnost dvou částí rámu. Použil jsem program parallelism a do něj jsem zadal následující hodnoty.

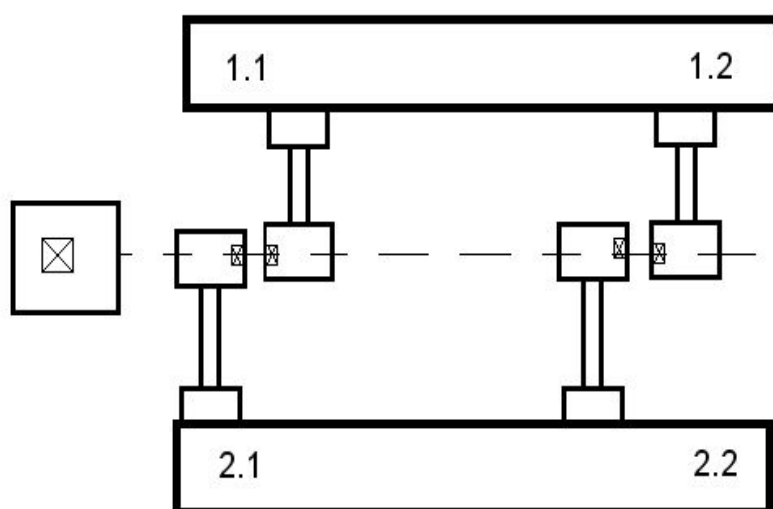
Počet válců: 2

Délka válců: 1150 mm



Obr. č. 31 Označení měřicích míst

Upevnil jsem vysílač laseru do rohu konstrukce pomocí magnetu vedle bodu 1.1 na obr. 31 a 32. U tohoto měření nebylo potřeba použít optický hranol, protože měřené objekty ležely v rovině laseru. Přemísťoval jsem detektor do jednotlivých měřicích míst a z přístroje jsem dostal následující hodnoty.

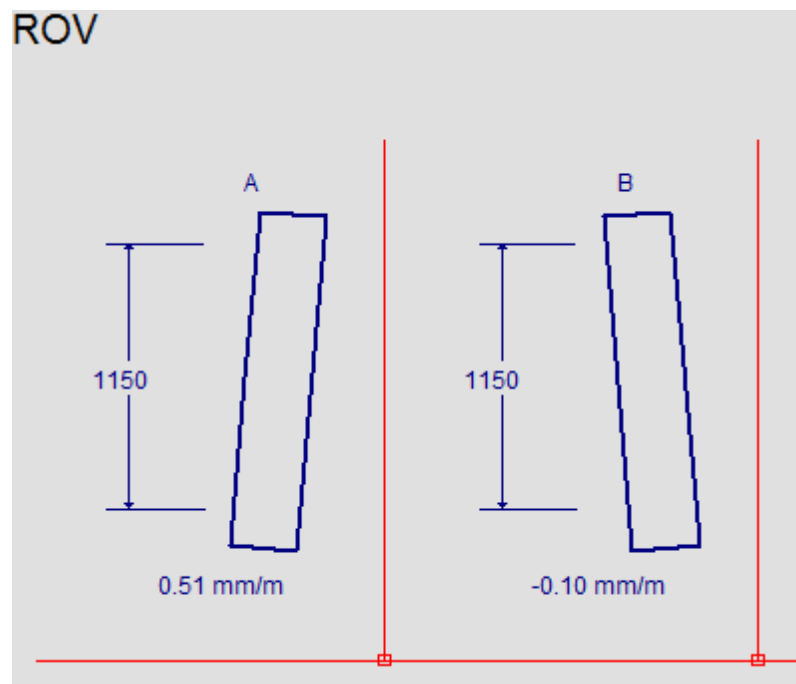


Obr. č. 32 Schéma měření rovnoběžnosti

Filename: R O V
 Date: 10.02.26
 Time: 09:38
 Program: Paralellism
 Unit: mm
 Serial: 49793 / 49534
 Temp: 20.8C

Num	Ref	Value	Width	Name
1		0.51	1150	A
2		-0.10	1150	B
<hr/>				
Max		0.51		
Min		-0.10		

Tab. č. 6 Naměřené hodnoty pro rovnoběžnost



Obr. č. 33 Grafické znázornění naměřených hodnot při rovnoběžnosti

Shrnutí

Při měření na modelu jsem se seznámil se základy geometrických měření a změřil jsem přímost a rovnoběžnost. Zjistil jsem, že nejdůležitější je ustavit vysílač laseru co nejpřesněji do roviny měření a správné přiložení detektoru k měřenému stroji, protože každá odchylka má vliv na přesnost. Naměřená maximální odchylka přímosti byla -0.43 mm před ustavením a 0.20 mm po ustavení. Při měření rovnoběžnosti jsou odchylky 0.51 mm/m u prvního válce a -0.10 mm/m u druhého válce.

3. Měření převíječe papírenského stroje KANT

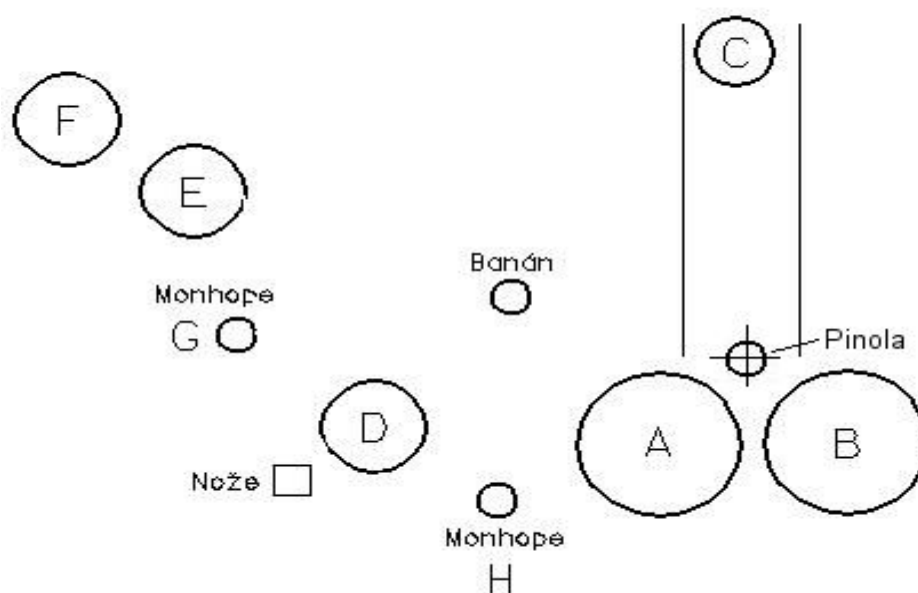


Obr. č. 34 Převíječ KANT

Převíječ papírenského stroje slouží k úpravě kotouče papíru před jeho balením a transportem. Ze vstupního válce (tamboru) se navíjí potřebné délky a šířky kotoučů. Tyto stroje jsou vysokorychlostní s regulovatelnými otáčkami. Běžné jsou rychlosti okolo $1000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Na kvalitu návinu má zásadní vliv správná geometrie celého stroje. Válce musí být rovnoběžné, lineární vedení přímé, kolmé na podélnou osu stroje a svislé. Pokud geometrie převíječe není v pořádku tak se projeví závady jako: špatný návin, různý průměr kotoučů, čela nejsou rovná a kotouče nelze oddělit.

3.1 Popis převíječe

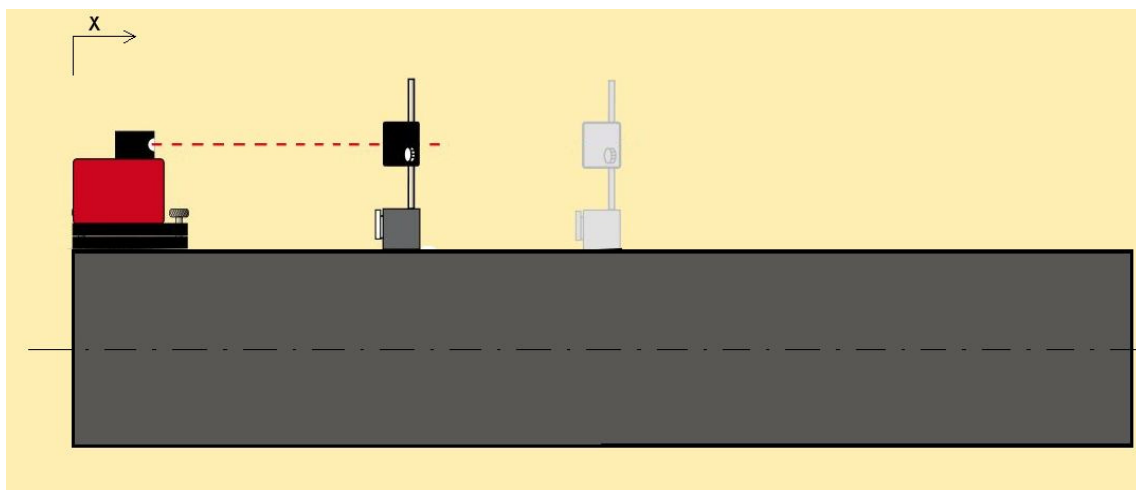
Převíječ se skládá z nosné konstrukce a hlavních válců A a B, které nesou navíjený kotouč. Přítlačný válec C se pohybuje podle velikosti návinu pomocí hydraulických válců. Mezi těmito válci jsou pinoly na které se navíjí papír. Ostatní válce slouží k vypnutí papíru anebo k jeho vedení (viz obr. č. 35).



Obr. č. 35 Schéma převíječe KANT

3.2 Postup měření

Pro měření rovnoběžnosti a přímosti byl použit měřicí přístroj Easy-Laser[®] D525. Rovnoběžnost byla změřena metodou podle jednoho z válců, jak je uvedeno v kapitole 1.2.1.. Za referenční byl vybrán válec B. Měření jsem provedl u válců A, B, C, D, E a F. Dále jsem provedl měření profilu (přímosti) válců A, B, E a F způsobem jak bylo uvedeno v kapitole 1.2.3 v úsecích po 100mm. Měřit se začíná vždy 200 mm od kraje a délka válců A a B je 2600 mm a válců E a F je 3000 mm.



Obr. č. 36 Schéma měření profilu válců

3.3 Naměřené hodnoty

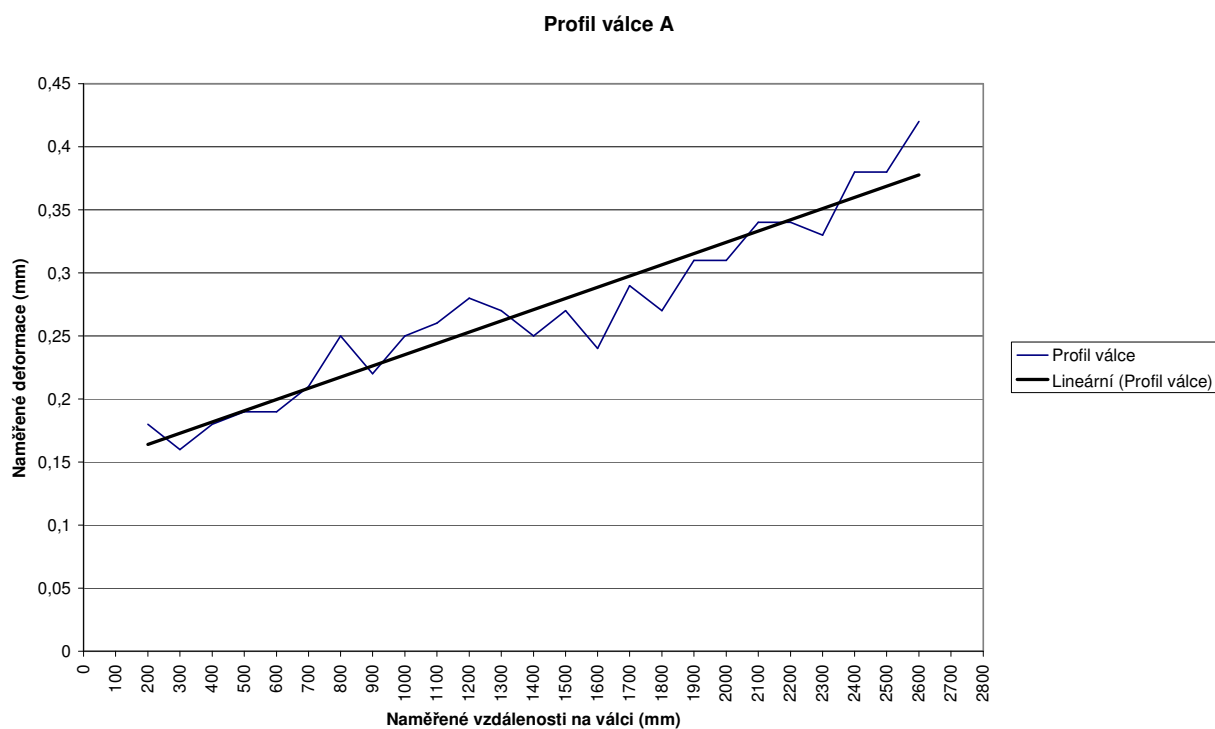
<i>Vzdálenost</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
200	0,18	0,09	0,12	
300	0,16	0,11	0,09	0,14
400	0,18	0,11	0,07	0,13
500	0,19	0,14	0,07	0,14
600	0,19	0,08	0,07	0,13
700	0,21	0,08	0,09	0,14
800	0,25	0,08	0,08	0,13
900	0,22	0,07	0,09	0,15
1000	0,25	0,07	0,1	0,14
1100	0,26	0,09	0,1	0,14
1200	0,28	0,09	0,11	0,16
1300	0,27	0,07	0,12	0,16
1400	0,25	0,09	0,11	0,16
1500	0,27	0,07	0,11	0,18
1600	0,24	0,08	0,11	0,19
1700	0,29	0,09	0,13	0,19
1800	0,27	0,07	0,14	0,21
1900	0,31	0,09	0,13	0,2
2000	0,31	0,11	0,13	0,22
2100	0,34	0,09	0,13	0,21
2200	0,34	0,09	0,11	0,2
2300	0,33	0,09	0,11	0,23
2400	0,38	0,1	0,1	0,21
2500	0,38	0,12	0,1	0,2
2600	0,42	0,16	0,08	0,21
2700			0,06	0,21
2800			0,1	0,25
2900			0,13	0,28
3000			0,12	0,25

Tab č. 8 Naměřené hodnoty pro přímost

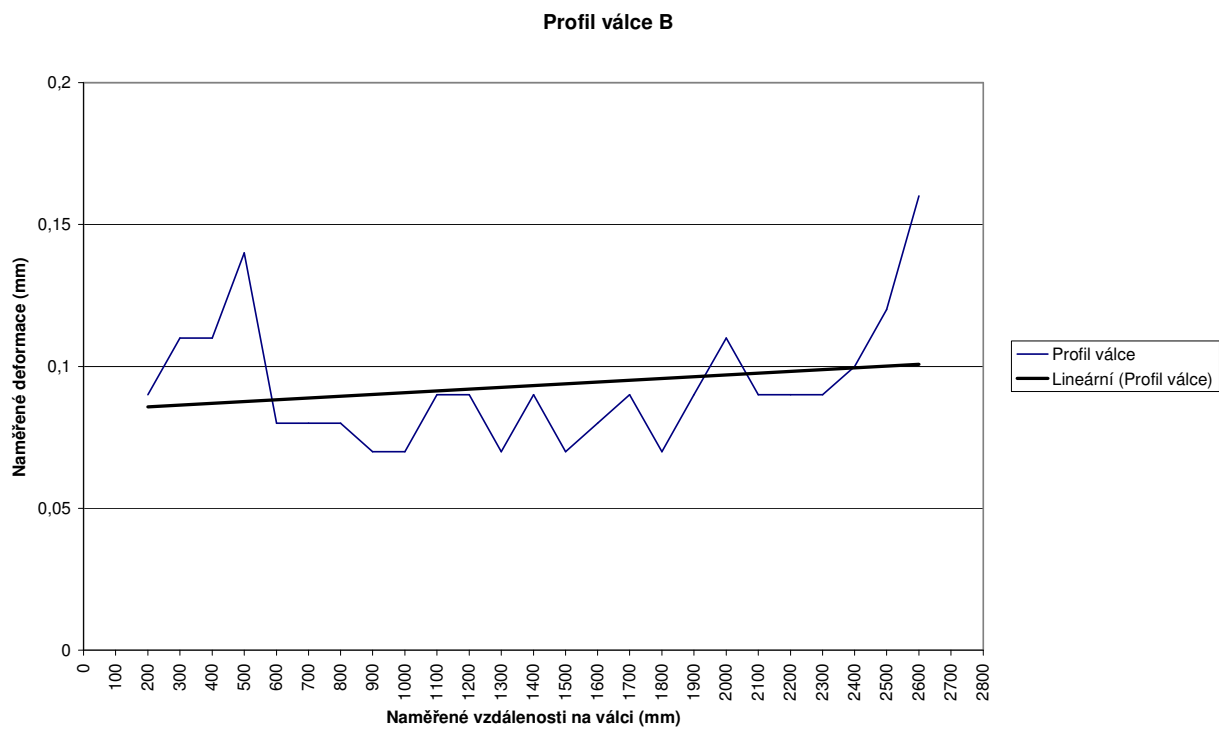
Název válce	Poloha	Výška
	dX (mm)	dZ (mm)
<i>A</i>	0,1	-1,0
<i>B</i>	0,0	-0,1
<i>C</i>	0,6	2,0
<i>D</i>	0,3	-0,1
<i>E</i>	0,0	0,1
<i>F</i>	0	0

Tab č. 7 Naměřené hodnoty pro rovnoběžnost válců

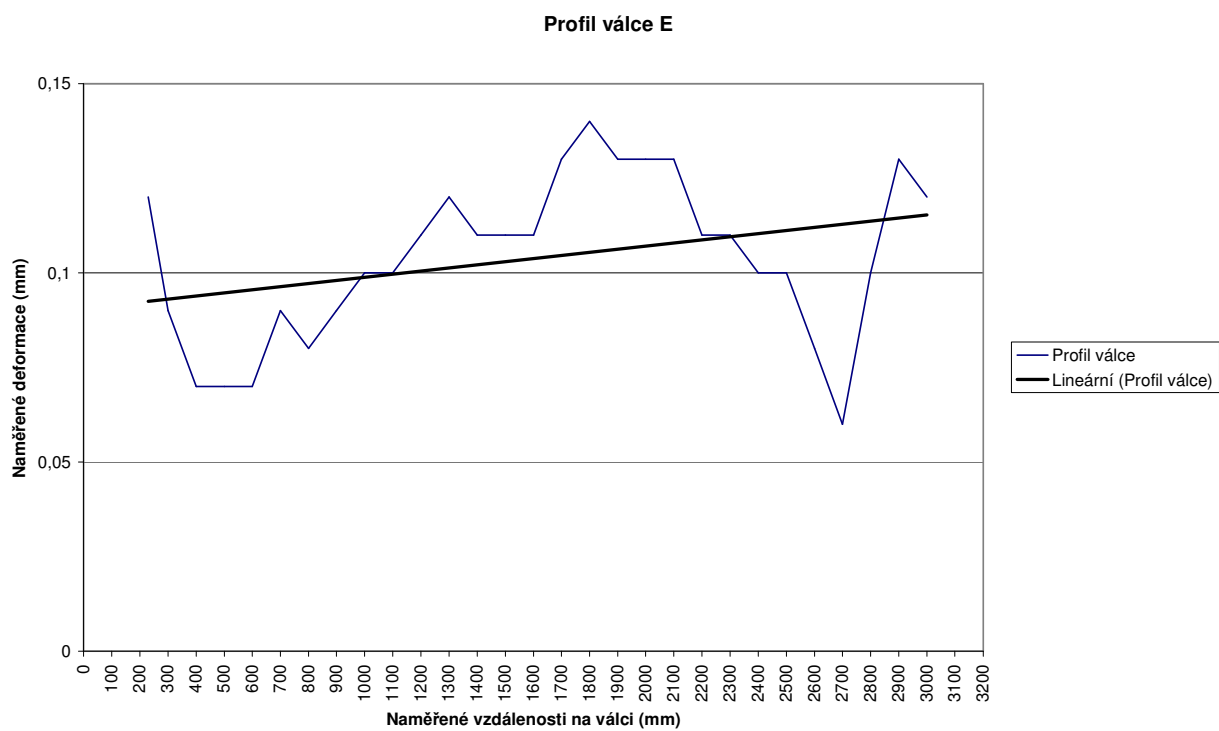
Grafické zpracování profilu válců



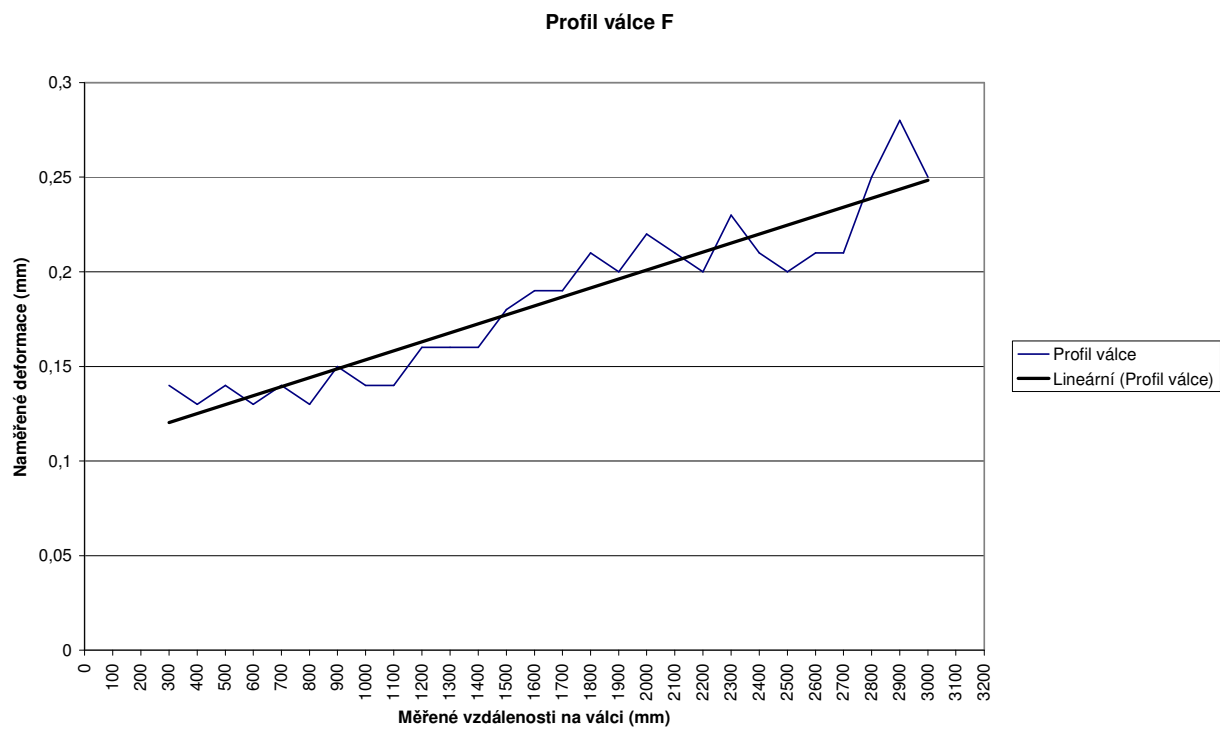
Obr. 33 Profil válce A



Obr. 34 Profil válce B



Obr. 35 Profil válce E



Obr. 36 Profil válce F

4. Vyhodnocení

4.1 Metody hodnocení

Pro oblast optických měření nejsou k dispozici závazné normy na úrovni ISO. Proto je nutné vycházet z podnikových norem výrobce. V Tab. č. 9. 1 je část doporučení firmy Valmet: Ref. KMS 843 E, z 12. března 1997 (Papírenské stroje a sušící celulózové stroje, měřicí místa a ustavení).

Uzel – část stroje	Niveleta, kolmost /v mm /
Rámy stroje	$\pm 0,20$
Lisové, sušící válce	$\pm 0,15$
Vodící válce	$\pm 0,15$

Tab. č. 9 Tolerance polohy pro sušící sekci PS dle fy Valmet

Pro prováděná měření papírenského stroje by dodržení norem z tab. 9 znamenalo prakticky nové ustavení celého stroje. Proto byly stanoveny normy, které by určily nejvíce poškozená místa stroje, ta která je nutno ustavit jako první. Tato doporučení vychází ze zkušenosti firmy DIF s.r.o.

Uzel - část stroje	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	PROVOZ	AKCEPTOVATELNÉ	STOP	HAVÁRIE
Sušící válce	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	Nad $\pm 1,0$	Nad $\pm 5,0$
Vodící válce	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	Nad $\pm 1,0$	Nad $\pm 5,0$
Lisové válce	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	Nad $\pm 1,0$	Nad $\pm 1,5$

Tab. č. 10 Upravené hodnoty tolerance polohy pro sušící sekci PS

Pásma hodnocení

- **Pásma Provoz:** Tyto válce ponechat ve stávajícím stavu
- **Pásma Akceptovatelné:** Jejich ustavení řešit jako následné.

- **Pásmo STOP:** Tyto hodnoty nutně musí znamenat těžký provozní problém a je nutno řešit okamžité ustavení.
- **Pásmo Havárie:** Tyto hodnoty nutně musí znamenat těžký provozní problém a je nutno řešit okamžitou opravu a ustavení. Hodnoty jsou zcela nepřípustné.

4.2 Zhodnocení dle předchozích parametrů

Provedl jsem optické měření převíječe KANT. Vytyčil jsem optickou osu z hlavního válce B (Obr. č. 32). Potom jsem změřil všechny válce mimo Mont - hope válců. Zjistil jsem, že největší chyby v neustavenosti jsou a přitlačného válce C. Přitlačný válec C má polohovou odchylku 0,6mm a výškovou odchylku 2,0mm. Ostatní válce jsou dobře ustaveny. Polohová i výšková odchylka u nich nepřekračuje 0,3 mm. Z tohoto vyplývá, že převíječ KANT je výborně ustaven a je doporučen provoz. Pokud se vyskytnou provozní problémy je nutno ustavit přitlačný válec C.

Dále jsem provedl měření podélných profilů u válců A, B, E a F. Největší odchylka přímosti je u válce B a to 0,15 mm. Ostatní hodnoty jsou vidět v předchozích grafech (Obr 33 - 36). Profil válců je vyhovující a není potřeba přebroušení.

5. Závěr

V první části diplomové práce jsem se pokusil seznámit čtenáře s problematikou ustavování strojů. Bylo ve zkratce probráno ustavování strojů do osy a vliv nesouososti na životnost strojů. Následně jsem se zmínil o geometrických měřeních. V této části jsou popsány metody jak měřit rovnoběžnost, rovinnost a přímost u velkých strojů.

Druhá část práce ukazuje jak aplikovat metody měření rovnoběžnosti a přímosti na zkušební stroj. Tento stroj byl určen pouze pro měření přímosti, ale s trochou improvizace jsme na něm změřili i rovnoběžnost. Se současnými vyhodnocovacími jednotkami je měření velmi snadné.

Nakonec jsme provedli měření na reálném stroji v provozu. Byl to převíječ papíru KANT. Získané hodnoty ukázaly, že stroj je téměř v pořádku a je schopen dalšího provozu. Pokud by se v budoucnu vyskytly nějaké problémy tak je potřeba ustavit válec C, který je v současnosti nejvíce vychýlen.

6. Seznam použité literatury

[1] HRABEC, L. HELEBRANT, F. MAZALOVÁ, J. *Technická diagnostika a spolehlivost III – Ustavování strojů*. VŠB-TU Ostrava, 1. vydání, OSTRAVA 2007. 92 s., ISBN 978-80-248-1449-0.

[2] PIOTROVSKI, J. *Příručka souosování*. 2. rozšířené vydání, český překlad, díl 1. a 2. 347 s.

[3] FIXTUR LASER, *Industry applications*. Dostupný z WWW:
<<http://www.fixturlaser.com/industry-applications/the-pulp-paper-industry.aspx>>

[4] FIXTUR LASER, *Types of misalignment*. Dostupný z WWW:
<<http://www.fixturlaser.com/?id=756>>

[5] EASY LASER. *D670 Brochure*. Dostupný z WWW:
<http://www.damalini.com/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=%2fFiles%2fFiler%2fproduktblad%2fD670_eng.pdf>

[6] EASY LASER. *Parallelism handbook*

[7] PRÜFTECHNIK, *Alignment knowledge*. Dostupný z WWW:
< http://www.pruftechnik.com/alignment-systems/alignment-knowledge.html?no_cache=1
>

[8] PRÜFTECHNIK, *PARALIGN brožura*. Dostupný z WWW:
<<http://www.lamikappa.cz/php/attach/paralign-prospekt.pdf>>

[9] PRÜFTECHNIK, *PARALIG* . Dostupný z WWW:
<http://www.pruftechnik.com/en/paralign.html?no_cache=1 >

[10] SKF, *Optická měření*. Dostupný z WWW:
<<http://www.skf.com/files/866672.pdf>>

[11] LEICA-GEOSYSTEMS, *Leica TDRA6000*. Dostupný z WWW:
<http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-TDRA6000_78485.htm>

[12] BRUNSON, *Learninng center*. Dostupný z WWW:
<<http://www.brunsonkc.com/p/LearnCenter.asp>>

[13] EASY LASER, *D600 Brochure*. Dostupný z WWW:
<http://www.damalini.com/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=%2fFiles%2fFiler%2fproduktblad%2fD600_eng.pdf>

[14] WIKIPEDIA, *Laser*, Dostupný z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser#Typy_laser.C5.AF>

[15] Podklady firmy DIF s.r.o